

我国中低纬度地区 S_q 焦点的分析与研究*

熊先宝 钱家栋

(国家地震局兰州地震研究所)

徐文耀

(中国科学院地球物理研究所)

摘 要

本文利用 1988 年 3 月—1989 年 3 月几次大的太阳活动期间我国 9 个台站的地磁资料, 采用无穷大平板电流的等效电流体系方法, 分析了我国中低纬度地区 S_q 焦点位置的变化特征, 并对照 K_p 、 D_{st} 、 A_p 等指数给出了 S_q 焦点位置变化的合理解释。结果表明: (1) 在不同的 K_p 指数段 S_q 焦点有不同的规律性。当 $K_p < 4$ 时, 随着 K_p 指数增大, S_q 焦点向高纬方向移动; 当 K_p 在 4 和 6 之间时, 随着 K_p 指数增大, S_q 焦点向低纬方向移动; 当 $K_p > 6$ 时, S_q 焦点模糊不清。(2) S_q 焦点纬度方向上的变化主要由环电流引起, 而 S_q 焦点经度方向上的变化主要由行星际磁场扇形效应影响引起。本文最后还给出了一种新的 S_q 指数。

关键词: S_q 焦点; 等效电流体系; IMF 扇形结构

一、前言

S_q 焦点就是由于电离层 E 区的太阳潮汐风的发电机效应产生的 S_q 电流体系, 中午时分分布在赤道上所造成的一种电流涡旋结构。严格说来, 这种涡旋结构应该是相当稳定的, 然而由于近地空间电磁环境的复杂性, 使得 S_q 焦点位置受到各种各样因素的影响而发生变化。

在地磁与高空物理的研究领域中, 平静太阳日 S_q 变化是最早引起人们注意并开展研究的课题之一。在弄清了产生 S_q 的电离层发电机机制之后, 人们又注意到了 S_q 变化的逐日不同, 从而开始了对 S_q 逐日变化的研究。对该问题的研究至今已有 60 多年的历史, 但还没有一致的结论。在研究的角度上, 有人建议应当从磁层—太阳风与地磁场的耦合方面入手, 也有人建议应该从风场分布模式、电离层电导率分布模式方面入手; 在研究的范围上, 有人认为 S_q 的逐日变化是全球性质的, 同时也有人认为 S_q 的逐日变化是局部性质的, 例如 Hibberd, F.H. 与 Schlapp, D.M. 两人曾在这一问题上争论不休。对 S_q 逐日变化的研究, 还应该包括其幅度与位相, 其位相中就包含有 S_q 焦点的位置变化, 而对 S_q 焦

* 本文为熊先宝硕士学位论文的一部分

点的研究, 在前人的文章中基本上没有系统地涉及到, 都只局限于其某一方面的研究, 或根本上就一笔带过, 因此, 本文从磁层—太阳风与地磁场的相互作用入手, 分析了我国中低纬度地区上空 S_q 变化的特征, 特别是分析了 1988 年 3 月—1989 年 3 月几次大的太阳活动期间 S_q 焦点位置变化的形态特征, 并给出了比较合理的解释。

对 S_q 的研究, 虽然已成为一个古老的课题, 但 S_q 焦点位置变化中包含有关于高层空间中大量信息, 弄清了 S_q 焦点变化的各种原因, 就为我们今后进一步研究高层空间打开了突破口。另外, S_q 的研究是一项基础性的工作, 对推动其它学科的发展有着深远的影响, 因此, 我们认为进行这项工作不但十分有意义而且是必不可少的。

二、资料的处理及 S_q 变化的一般特征

本文资料的收集与选取具有一定的代表性, 从地理上讲, 它包括了我国长春至琼中的 9 个台站; 从时间上讲, 包括了 1988 年 3 月到 1989 年 3 月一年的地磁事件 (6 个资料段, 以下简称 6 次事件), 刚好是地磁季节 (D、E、J 三个季节) 上的资料。资料之所以这样选取, 主要是这 9 个台站位于一条地磁子午链上 (图 1), 随着地球的自转, 基本上能够扫描出中低纬度地区各种电流体系及其变化特征。表 1 给出了这 9 个台站的名称、地理坐标及地磁坐标。

表 1 9 个台站的名称及其坐标

台站名称	地理 纬度	地理 经度	地磁 纬度	地磁 经度	备注
长春	44.0°	125.2°	33.3°	192.2°	
北京	40.0°	116.2°	29.0°	184.6°	
大连	39.0°	121.5°	28.2°	189.2°	
上海	31.1°	121.2°	20.3°	189.3°	
武汉	30.5°	114.6°	19.5°	183.3°	D 分量反向
邵阳	27.2°	111.5°	16.2°	180.5°	1988-03-18 资料缺乏
泉州	24.9°	118.6°	14.0°	187.1°	
广州	23.1°	113.3°	12.1°	182.2°	D 分量反向
琼中	19.0°	109.8°	8.0°	178.9°	

说明: 1. 由于邵阳台 1988 年 3 月 18 日资料缺乏, 我们采用与其邻近的武汉台和泉州台同期的地磁资料的平均值取代。2. 由于仪器安装原因, 使得武汉台和广州台 D 分量反向。

1. 资料处理原理

取向北、向东、向下分别为直角坐标系的 X、Y、Z 轴, 则地磁三要素 H、Z、D 之间存在如下关系:

$$X = H \cos D, \quad (1)$$

$$Y = H \sin D \quad (2)$$

反映到 X、Y 轴上 (即地面上的地理坐标分量) 的变化就是:

$$\Delta X = \Delta H \cos D - H \sin D \cdot \Delta D \quad (3)$$

$$\Delta Y = \Delta H \sin D + H \cos D \cdot \Delta D \quad (4)$$

其中 H、D 为地磁场三要素的基值, 由台站的绝对测量中得到; ΔH 、 ΔD 为台站记录到的地磁变化值。

众所周知, 地面上记录到的地磁场变化值是高空中各种各样的电流体系以及对应的地下感应电流产生的: 如电离层发电机电流、场向电流、磁层环电流等。为便于研究, 我们忽略地下感应电流, 并将高空电流体系等效成一种电流, 该电流的效果就产生了地面上记录到的磁场。本文采用无穷大薄板电流作为等效电流, 它是通过如下途径得到的:

- (1) 将各种电流进行高度积分, 得到无限薄球壳电流体系;
- (2) 该球壳的局部范围可以看成是均匀电流流过的薄板;
- (3) 再将该局部范围中的电流延伸成无穷大薄板电流。如图 2 所示。

如果考虑到地下的感应电流作用, 由简单的计算便可以得到如下公式:

$$\Delta B = (1/f) \mu_0 \cdot J/2 \quad (5)$$

或者

$$J \propto \Delta B$$

其中 ΔB 为磁场值或者其分量变化 ΔX 、 Δy ; J 为无穷大平板电流密度; μ_0 为磁导率, 在真空中 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ 亨/安; f 为常数。考虑到地下感应电流后所取的经验常数, 它和

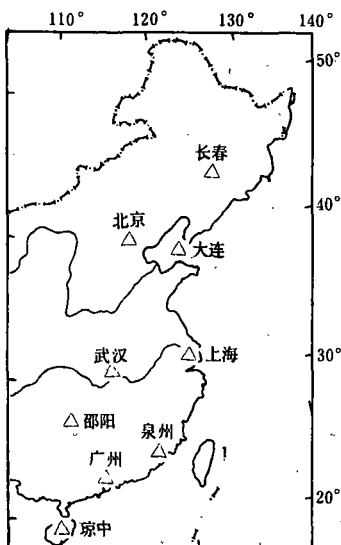


图 1 9 个台站组成的地磁子午链

Fig.1 Geomagnetic meridian connecting nine stations

所取电流的周期地下介质的电导率, 以及高空大气的电导率都有关系, 对于 S_q 而言, 一般取 0.6。

2. S_q 变化的一般特征

图 3 和图 4 分别给出了 1989 年 3 月 9 个台站原始资料图和等效电流体系图 (其它 5 个类似图未给)。表 2 给出了 6 次事件的基本状况。其中的相对平静期是这样的: 即在每次事件中选取两天代表完全平静的天 (磁静日), 再将该次事件中的其它天与之比较, 以此来确定静日与扰日。以下在本文中所说的变化, 如无特殊声明, 一般都是指相对于平静日的变化。

以上的统计表明, 最平静的事件为 1988 年 4 月的一次; 扰动最大的为 1989 年 3 月的事件, 其间发生了大大小小的磁暴或磁扰共 8 个。通过分析得到了 S_q 变化在形态上的几种特征:

(1) 典型的 S_q 周日变化

这是在等效电流图中常见的、显著的电流体系, 由于其源就位于电离层中, 因而这是为人们所最早认识和熟悉的电流体系。磁静日的 S_q 以一个太阳日为周期, 其电离层电流在北半球逆时针

表2 6次事件基本情况一览表

事件及 比较内容		1988年3月 15-21日	1988年4月 16-20日	1988年6月 24日-7月8日		1988年12月 15-25日	1989年1月 11-19日		1989年3月 8-20日
磁暴或磁扰	发生 时间	15-16		25-26	29-30	17-18	11-12	15-16	13-14
	类型	Sd		SD	SC	SB	SB		SA
磁静日		3、5	3、4	4、11		6、9	4、9		3、4
事件代号		M ₁	M ₂	M ₃	M ₄	M ₅	M ₆	M ₇	M ₈

说明: 磁静日一栏中是指从事件开始后的第几天。如3、5是指第3天与第5天, 一般地选取两个静日。

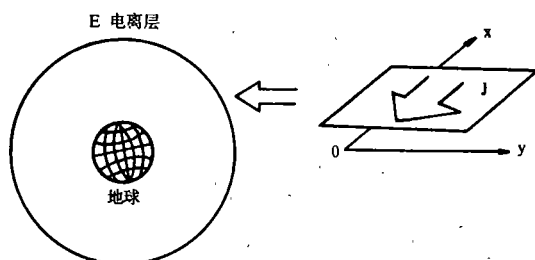


图2 无穷大薄板电流模型

Fig.2 Model of infinite plate current

方向旋转形成一个涡旋结构。一般地, 涡旋中心位置位于当地时间上午11时至12时之间, 纬度在30度左右。在磁扰日也能见到 S_q 涡旋电流体系, 只不过它相对于磁静日来说, 呈现出 S_q 逐日变化等一系列复杂变化。关于磁静日 S_q 的形成机制, 现在一般认为, 电离层E区的太阳潮汐风的发电机效应产生了 S_q 电流体系, 中午时分分布在赤道上就会造成 S_q 电流体系。白天空气流在垂直磁场 Z 内向北运动就产生了

向西的电流, 由于大气的电导率随纬度增加而减小, 这种电流就形成了封闭电流而引起地

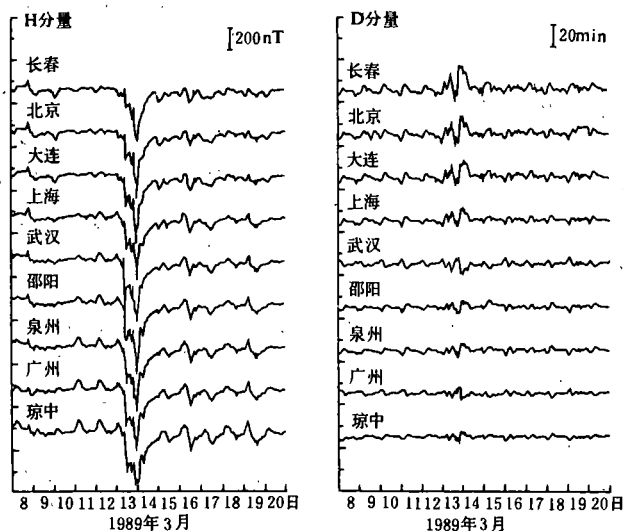


图3 9个台站原始记录图

Fig.3 Geomagnetic variation of nine stations

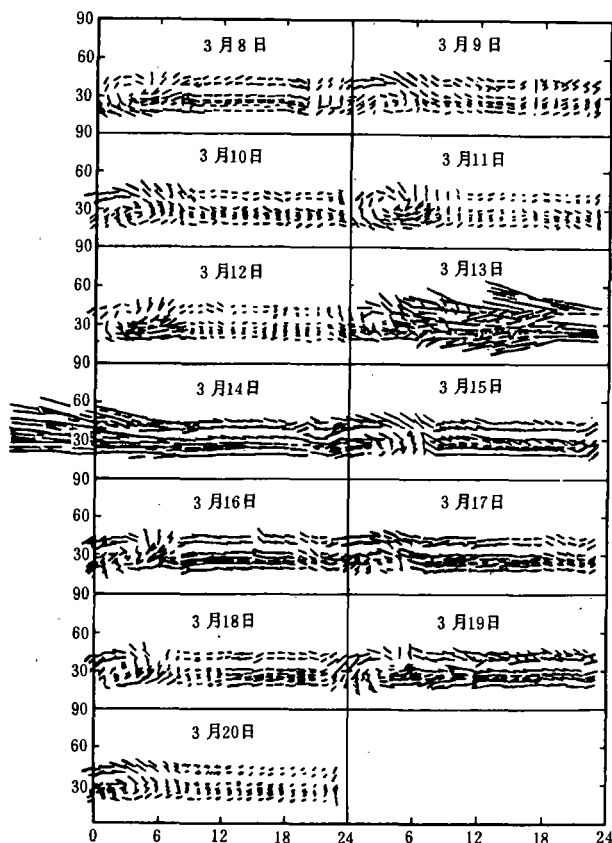


图4 1989年3月8日-20日等效电流图

Fig.4 Equivalent current on March 8-20, 1989

暴后。 S_q 焦点位置可以向低纬移动到接近 20 度左右, 如 1988 年 3 月 9 日的电流矢量图就可以证明这点。 S_q 焦点向高纬方向移动, 常发生在磁暴或磁扰过后, 如 1988 年 12 月 22 日存在这种情况。同时, 行星际磁场极性的改变也能引起 S_q 焦点纬度方向上偏高或偏低。2) S_q 焦点经度方向上的移动。这种情况不一定发生在磁暴和磁扰期间, 有时在地磁活动相当平静时也能发生。

误差在纬度方向为 5 度, 在经度方向为 0.5 小时。

三、 K_p 、 D_{st} 、IMF 与 S_q 焦点位置

在描述由于地磁扰动而引起的一些现象时, 常常离不开有关指数。正因为如此, 为了更准确、更完美地描述 S_q 焦点位置变化, 我们借助于 K_p 指数、 D_{st} 指数、IMF 扇形效应。

1. K_p 指数与 S_q 焦点移动的关系

一天之中地磁场变化有时比较有规律, 有时却发生很不规则的大的变动。考虑到地球

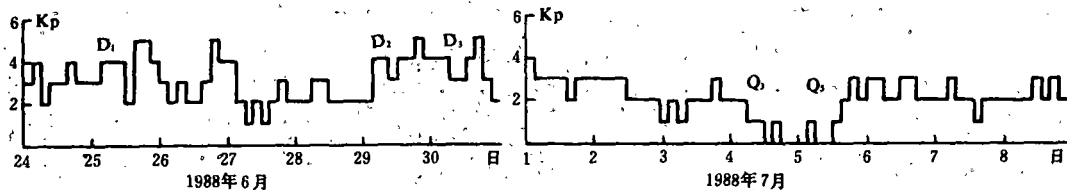
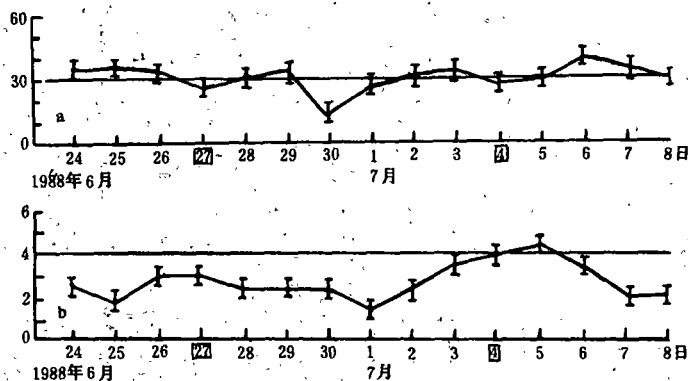
磁场的变化。

S_q 焦点特征表现在: (1) ΔH 分量在焦点的附近, 符号相反; (2) ΔZ 分量在焦点处有一极值, 这个特征为我们提供了寻找焦点的一个粗略方法, 即不用作等效电流图, 便可大概地知道焦点所在的位置。

(2) S_q 焦点位置的变化

在磁暴或磁扰期间, 最引人注目的和感兴趣的就是 S_q 焦点的位置发生了变化。有哪些因素影响了 S_q 焦点位置的变化呢? 这些因素怎样影响 S_q 焦点位置的呢? 这是本文所要讨论的问题。

前面说过, 所谓 S_q 焦点的移动都是相对于所选的磁场静日作为基准, 并以此来判断 S_q 焦点位置移动的方向。从前面图中分析可以得出 S_q 焦点位置存在以下二个方向的变化: 1) S_q 焦点向低纬方向和高纬方向移动。这种情况常存在于磁暴或磁扰期间有较大的东西向电流时, 也可以发生在磁暴前和磁

图5 1988年6月 K_p 指数曲线Fig.5 K_p index curve in June, 1988图6 1988年6-7月 S_q 焦点沿经纬度变化

a. 沿纬度变化; b. 沿经度变化

Fig.6 S_q focus variation along latitude and longitude in June-July, 1988

变化磁场源于太阳电磁辐射和粒子辐射, 我们引入 K_p 指数来反映太阳粒子辐射的影响, 其值越高, 地磁场变化越大。如图5、6所示。从图中看出:

(1) K_p 指数与 S_q 焦点的纬度变化

表3具体地给出了6次事件中 K_p 指数曲线与 S_q 焦点纬度变化的关系。根据以上统计结果, 我们得到如下几点结论: 1) 当 $4 < K_p < 6$ 时, S_q 焦点的纬度变化曲线与 K_p 指数曲线呈相反变化的趋势; 2) 当 $K_p < 4$ 时, S_q 焦点的纬度变化曲线与 K_p 指数曲线呈现相同变化趋势, 或根本不发生变化; 3) 当 $K_p > 6$ 时, 即在强烈磁暴或强磁暴期间, S_q 焦点被强大的西向电流所掩盖, 根本分辨不出 S_q 焦点的位置所在。但在强烈磁暴过后一段时间内, S_q 焦点的纬度变化曲线又与 K_p 指数曲线呈现相同的变化趋势。

(2) K_p 指数与 S_q 焦点的经度变化

S_q 焦点的经度变化不如其纬度变化那样与 K_p 指数有着明显的一一对应关系, 即找不出 K_p 指数曲线与 S_q 焦点经度变化曲线之间的规律性来, S_q 焦点经度方向向东移动或向西移动相对 K_p 指数来说完全是任意的。这就暗示我们, S_q 焦点经度方向上的移动并不是由于太阳粒子辐射引起的, 我们应该另找一些物理参数去分析和发现 S_q 焦点经度方向上

变化的规律性来。从 K_p 指数曲线与 S_q 焦点经度变化图上来分析, 我们发现, S_q 焦点发

表 3 K_p 指数曲线与 S_q 焦点纬度变化曲线对照表

事件	1988 年 3 月 15-16 日	16-17 日	1988 年 6 月 26-27 日	27-29 日	29-30 日	30 日-7 月 1 日	7 月 5-6 日
K_p 指数	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↑
S_q 焦点纬度	↓	↑	↓	↑	↓	↑	↑
事件	1988 年 12 月 15-16 日	16-17 日	21-22 日	1989 年 1 月 14-16 日	16-17 日	18-19 日	1988 年 7 月 6-8 日
K_p 指数	↓	↑	↑↓	↑	↓	↓	→
S_q 焦点纬度	↑	↓	↑	↓	↑	↑	↓
事件	1989 年 3 月 8-9 日	11-13 日	15-16 日	16-17 日	17-18 日	18-19 日	19-20 日
K_p 指数	↑	↑↓	↓	↑	↓	↑	↑↓
S_q 焦点纬度	↓	↓*	↓	↑	↓	↑	↓

说明: 向上的箭头表示上升, 向下的箭头表示下降, 水平方向的箭头表示不变或变化很小。上升下降都是指相对所选磁静日变化; * 表示 S_q 焦点模糊。

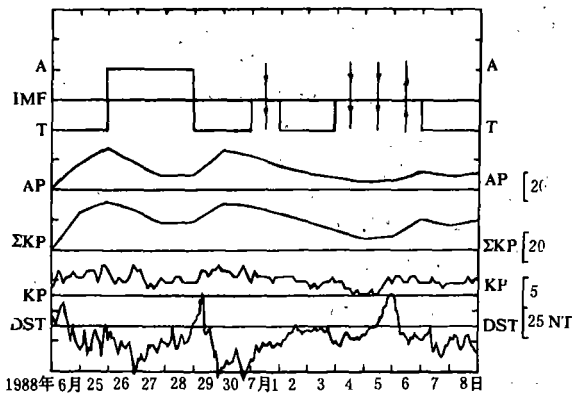


图 7 IMF、 K_p 、 A_p 、 D_{st} 指数的变化

Fig.7 IMF、 K_p 、 A_p and Dst variations in June, 1988

D_{st} 指数描述的是环电流在地面所产生的磁场, 其值间接地反映出环电流的大小, 其符号给出了环电流的方向。图 7 给出了 IMF、 K_p 、 A_p 、 D_{st} 等指数的变化。对照图 6, 我们分析了 1988 年 6 月-7 月的资料, 发现 D_{st} 指数和 S_q 焦点纬度的变化有着密切的联系, 除了 D_{st} 指数太小, 辨别不出 S_q 焦点位置以外, 其它可辨别的 S_q 焦点位置对应 D_{st} 指数有如下关系:

(1) S_q 焦点纬度越低, 对应的 D_{st} 指数越小; S_q 焦点纬度越高, 对应的 D_{st} 指数越大。

(2) D_{st} 指数曲线几乎与 S_q 焦点纬度变化曲线呈现同步变化的趋势。

生明显的东向或西向移动时, 其对应的 K_p 指数相对来说, 往往很小, 这就提醒我们, S_q 焦点的经度变化在 K_p 指数大时之所以没有表现出来, 是因为强大的粒子辐射掩盖了制约 S_q 焦点经度变化的某种因素, 一旦 K_p 指数变小, 制约着 S_q 焦点的经度变化的某种因素便占主导地位, 从而需要我们寻找这种占主导地位的因素。

2. D_{st} 指数与 S_q 焦点移动的关系

(3) 经仔细分析, D_{st} 指数变化与 S_q 焦点在经度方向的移动几乎没有什么联系。

由此, 我们可以得出: D_{st} 指数主要影响了 S_q 焦点纬度方向上的变化, 而不影响 S_q 焦点经度方向上的变化。

3. IMF 与 S_q 焦点位置

IMF (Interplanetary Magnetic Field) 就是太阳磁场在空间的延伸, 它与地磁场复杂的相互作用对 S_q 焦点位置的变化也可产生不可忽视的影响。

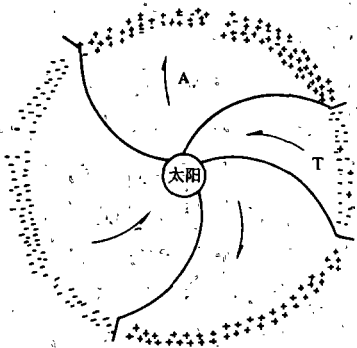


图8 行星际磁场扇形结构

Fig.8 International magnetic field section structure.

由于太阳的磁场极性时时在变化, 有时指向太阳, 有时背离太阳, 并且随着太阳的自转, 形成了阿基米德螺旋线, 地球就处在这种极性在变化的行星际磁场之中 (图8), 因而这种变化不可避免地通过地球磁层影响到 S_q 焦点的位置变化。我们收集到了这6次事件的 IMF 极性资料, 把它画在图7中 (图中只列出1988年6月事件)。对比图7和图6我们发现, IMF 不象 D_{st} 指数那样和 S_q 焦点纬度变化有着明显的对应关系。但进一步研究发现, IMF 主要影响 S_q 焦点经度方向上的变化, 从统计的角度上说, 在 A 极性时, S_q 焦点的位置主要向东移动或向高纬度方向移动, 如1989年3月16、17、18日等; 在 T 极性时, S_q 焦点的位置主要向西移动或向低纬度方向移动, 如1989年8、9、10日等。象这种情况在其它事件中也常常见到, 但有时极性变化频繁, S_q 焦点的位置变化跟不上 IMF 的极性变化, 因而以上的规律性就被破坏了。IMF 和 S_q 焦点位置变化规律性不强的原因或许可以从其它方面去找, 即可能存在更强、更直接的因素影响 S_q 焦点的位置变化, 如场向电流等。一般地 IMF 对地面磁场的影响只有 $3-5nT$, 这只有在磁静日时才能体现出来, 一般地磁扰动都超过了这个量级。

四、 S_q 焦点位置变化的初步解释

能引起地磁场变化的因素各种各样, 如平静太阳日变化、扰动太阳日变化、太阴日变化以及各种电流 (极区电流、环电流、磁层顶电流、磁尾电流) 引起的扰动地磁场, 还有脉动磁场等。这些变化磁场以及它们之间的相互作用同时记录在资料上, 要真正有效地分离出上述各种变化磁场及其效应, 到目前为止还是一个相当困难的事情。为了达到这一目的, 国内外许多学者都进行了尝试, 试图把各种因素分离开来考虑, 如徐文耀等人曾在 Hibberd 方法的基础上提出了一种分离变化磁场几种主要成份的方法, 使用该方法定量地给出了每天 S_q 型变化, D_{st} 变化和其它不规则变化, 其结果表明: 中低纬度电离层 S_q 型电流体系的空间结构相当稳定, 即使在磁暴期间, 该电流体系的结构也无十分明显的变化, 磁扰期间复杂的地磁变化主要来自磁层环电流、场向电流和高纬度电离层电流等, 证实了电离层发电机电流体系具有较稳定的空间结构。Y. Kamide 等人也认为, 虽然中低纬度地区磁场不稳定, 但中低纬度地区电离层电流体系相当稳定。由此, 我们可以断定, 引起 S_q 焦点位置变化的物理机制应该存在于磁层以及磁层以外的空间, 而不应该从电离层

中去找。

1. S_q 焦点纬度变化的原因

从我们前面的分析看来, S_q 焦点的纬度变化和 K_p 指数与 D_{st} 指数都有着密切的关系。这些指数都间接地反映了 S_q 焦点纬度变化的实质。我们知道, K_p 指数描述的是太阳粒子辐射的强弱, 而 D_{st} 指数描述的是磁层环电流在地面引起的磁场的变化大小。太阳风—磁层之间的相互耦合为把太阳发出的能量与粒子输送给近地空间, 造成 S_q 焦点移动创造了有利条件, 如磁力线重联就是粒子输运与能量输运的可能方式之一。一种可能的解释模式如下: 当 $K_p < 4$ 时, 太阳辐射粒子很微弱, 只有少量的粒子与地球磁层以及地球磁力线发生复杂的相互作用, 目前这种作用的机理还不十分清楚。早在三十年代, 人们在描述磁层的形成时, 就试图揭示这种作用机制, 认为太阳辐射粒子流与地球偶极场的作用能形成微弱的东向电流。我们认为可能是这个东向电流, 使得 S_q 焦点的纬度偏高。但现在的理论研究表明, 这一结论有很大的不确定性。当然能形成东向环电流的因素很多, 如 H. Campbell 等人认为, 当地磁活动性较高时, 在 2—3.5Re 处存在一种东向环电流, 另一种大的伴随东向环电流位于 4—9Re 处 (Re 为地球半径), 另外中低纬度处电离层内一些弱的对流电场存在, 也可以导致东向电流产生, 但不一定是环形的。当 K_p 在 4 和 6 之间时, 这表明有较强的太阳粒子辐射, 进入磁层内的粒子数目相对增多。起主导作用的是, 带电粒子与地球偶极场相互作用。其结果是粒子参与了三种运动: 一种是粒子绕磁力线作基本的圆周运动; 另一种是粒子在地球两极之间作来回振荡; 第三种运动是粒子的引导中心向西漂移。正是大量粒子的西向漂移运动形成了西向环电流, 西向环电流的存在是影响 S_q 焦点纬度偏低的主要原因, 当 K_p 指数上升, 参与运动的粒子数目增多, 西向环电流增强使得 S 焦点纬度下降。

当 K_p 指数大于 6 时, 表明有足够多的带电粒子形成强大的西向环电流, 结果是完全掩盖了 S_q 焦点的位置所在, 根本区分不了, S_q 的形态。

当然上面对 K_p 指数与 S_q 焦点纬度变化关系的解释带有很大的局限性, 例如, 我们不能解释 K_p 的域值问题, 为什么要以 4 和 6 作为 K_p 的分界值。另外, 我们也不能解释在强烈磁暴过后的一段时间内, S_q 焦点的纬度变化曲线与 K_p 指数曲线呈现相当的变化趋势 (这时的 K_p 指数不小于 4)。这些都有待于我们在以后的工作中作进一步的研究。

通过以上的解释, 我们就不难理解 D_{st} 指数与 S_q 焦点纬度变化的关系了, D_{st} 指数小, 表明西向环电流较强, S_q 焦点纬度位置较低; 反之, D_{st} 指数大, 表明西向环电流较弱, S_q 焦点纬度位置较高。总之, 西向环电流是影响 S 焦点纬度的根本原因, 另一个可能原因就是 IMF 扇形效应。Matsushita 曾指出, 行星际磁场的扇形效应可以使 S_q 电流涡的纬度变化 4° 之多。

2. S_q 焦点位置沿经度变化的原因

S_q 焦点在经度方向上的变化不如其在纬度方向上变化明显, 其特点是不一定和磁暴或大的磁扰相联系。关于这点前人已有研究, 证明 IMF 效应是造成 S_q 焦点经度方向上变化的原因之一。徐文耀等人指出, 由 B_z 变化引起的磁层大尺度对流电场的变化在一定的条件下有可能透入内磁层, 并沿磁力线映射到中低纬度电离层, 在那里产生畸变, 并在地面磁场中反映出来。当 $\Delta B_z < 0$ 时, S_q 电流体系焦点向东和向高纬移动。这恰好对应 IMF 的 A 极性状态, 这种 S_q 焦点在经度方向的移动有时可以推迟或提前 1 小时左右, 或

者更长的时间。从我们对资料分析的情况来看,更加证实了这一点。造成 S_q 焦点经度方向移动的另一个可能原因就是,由极区到中低纬度地区有较大的电离层泄漏电流存在,但早在1981年,Y.Kamide等人就否定了这点。据最新的研究表明,场向电流极有可能是造成 S_q 焦点沿经度方向变化的原因之一,场向电流并不固定在地球经度方向上的某一位置,而时刻在变化着。如果场向电流从南向北,或从北向南,刚好白天流过,将毫无疑问地影响 S_q 焦点的经度位置。

五、讨论与结论

关于 S_q 焦点的位置变化是一个相当复杂的问题,有很多因素都可以引起 S_q 焦点位置的变化,本文只不过分析了引起这种变化的几个重要因素,而没有考虑其它的次要因素,这些次要因素包括(1) S_q 焦点位置的季节变化;(2) 电离层 S_q 逐日变化等,我们也忽略了地球内部感应出的 S 电流体系对 S_q 焦点位置的影响等等,这些都是我们今后进一步研究的方向。

前面已经指出,由于还没有一种较好的方法来分离各种磁扰效应,因而我们用的是等效电离层电流体系来表征 S_q 焦点的位置变化。实际上, S_q 电离层电流体系相当稳定,而一些干扰都位于更高层的磁层中,这就必然会带来一些误差。其次,我们也未考虑影响 S_q 焦点位置变化的其它因素,这些因素也会影响到我们的结论。另外, S_q 焦点的位置变化,还是一种定性的讨论,具体变化多少,还没有给出定量的描述。基值的选取标准、磁静日的选取标准以及计算电流体系的方法不同,都对结果有很大的影响,甚至不同的研究方法有可能得出完全相反的结论来,在 S 电流体系的研究史上曾出现过种情形。

通过对 K_p 指数与 S_q 焦点位置的分析,我们不仅指出了它们之间的密切联系,更重要的是对 K_p 指数进行了段的划分,在不同的 K_p 指数变化段所反映出的 S_q 焦点位置变化规律是不同的。当 K_p 小于4时, S_q 焦点纬度随着 K_p 指数的增大向高纬方向移动;当 K_p 在4和6之间时, S_q 焦点纬度随着 K_p 指数增大向低纬方向移动;当 K_p 大于6时, S_q 焦点进一步向低纬方向移动,以致模糊不清。 S_q 焦点经度方向上的变化只有在地磁活动较低时,才体现得相当明显,并且它在不同方向上的变化是受不同的物理机制所制约的。 S_q 焦点在纬度方向上的变化主要由环电流引起,而在经度方向上的变化主要由行星际磁场扇形效应引起。

参考文献

- [1]徐文耀等,中低纬度地区变化地磁场的结构分析,地球物理学报,Vol.33, No.1, 1990.
- [2]徐文耀,中低纬度电离层大尺度电流体系空间结构的稳定性,地球物理学报,Vol. 33, No.5, 1990.
- [3]徐文耀,用中低纬度地磁资料确定 S_q 电流体系的焦点,空间科学学报, No.7, 117-127, 1987.
- [4]徐文耀,师恩崎,行星际磁场扇形结构对低纬度地磁场的影响,地球物理学报,Vol.30, No.2, 1987.
- [5]徐文耀,磁层电场引起的 S_q 低点位移,地震地磁观测与研究,Vol.6, No.1, 1985.
- [6]章公亮等,磁扰的 K_p 类型与耀斑活动,地球物理学报,Vol.25, No.1, 1982.
- [7]沈长寿,磁暴期间太阳风-磁层-电离层间的耦合过程,地球物理学报,Vol.30, No.3, 1987.

- [8]Hibberd, F.H., Day-to-day variability of the S_q geomagnetic field variation, *Aust.J.Phys.*, No.34, 1981.
- [9]Schlapp, D. M. et al., The spatial scale of correlation of the day-to-day variability of S_q , *geophys.J.R.Astr.s.*, Vol.73, 671-673, 1983.
- [10]曾治权, 日地关系, 地震出版社, 1981.
- [11]Campbell, W.H. et al., S_q currents: A comparison of quiet and active year behavior, *J.G.R.*, Vol.87, No.A7, 1982.
- [12]Kamide, Y. et al., Simulation studies of ionospheric electric fields and currents in relation to field-aligned currents: 1 quiet periods, *J.G.R.*, Vol.84, No.A8, 1979.
- [13]Matsushita, S. and Xu Wen-yao, Ionospheric wind dynamo theory of L, *J.G.R.*, Vol.88, 1983.
- [14]Kamide, Y. et al., Estimation of ionospheric electric fields, ionospheric currents, and field-aligned currents from ground magnetic records, *J.G.R.*, Vol.80, 1981.

ANALYSIS AND RESEARCH OF S_q FOCUS POSITION OF THE MID-LOW LATITUDES IN CHINA

Xiong Xianbao, Qian Jiadong

(*Earthquake Research Institute of Lanzhou, SSB, China*)

Xu Wen-yao

(*Institute of Geophysics, Academia Sinica, Beijing, China*)

Abstract

Using the geomagnetic data of several great solar activities from Mar. 1988 to Mar. 1989 of 9 stations in China, and the equivalent ionosphere current systems of infinite plate current, we analysed the variation features of S_q focus position of the mid-low latitudes in China and obtained reasonable explanation of S_q focus variability corresponding to K_p , D_{st} , A_p indexes. It is showed that 1) In different K_p index intervals, S_q focus has different regularities. When $K_p < 4$, S_q focus moves to high latitudes as K_p index is increased; When $4 < K_p < 6$, S_q focus moves to low latitudes as K_p index is increased; when $K_p > 6$, S_q focus is indistinct as K_p index is increased. 2) S_q focus variation along latitude direction was mainly caused by ring currents, but variation along longitudinal direction was mainly affected by IMF sector effect.

Key Words: S_q Focus; Equivalent Ionosphere Current System; IMF Sector Structure